

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許出願公告番号

特公平7-21724

(24) (44) 公告日 平成7年(1995)3月8日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 5 B 13/04

G 0 5 D 3/12

識別記号

3 0 5 V

庁内整理番号

9131-3H

9179-3H

F I

技術表示箇所

発明の数2(全 8 頁)

(21) 出願番号 特願昭61-59210

(22) 出願日 昭和61年(1986)3月19日

(65) 公開番号 特開昭62-217304

(43) 公開日 昭和62年(1987)9月24日

(71) 出願人 999999999

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

(72) 発明者 正木 良三

茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日

立製作所日立研究所内

(72) 発明者 大前 力

茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日

立製作所日立研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男 (外2名)

審査官 菅 澤 洋二

(56) 参考文献 特開 昭61-290505 (J P, A)

特開 昭62-77608 (J P, A)

特開 昭54-87368 (J P, A)

特開 昭55-91003 (J P, A)

特開 昭60-231205 (J P, A)

(54) 【発明の名称】 自動制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 被制御対象の状態量を検出した検出値 (x) をフィードバックし、その検出値が制御指令値 ( $x_M$ ) になるように出力補償回路 (8) からの出力補償信号 ( $v_\epsilon$ ) に基づく量を制御量 (v) として被制御対象を制御するフィードバック制御系で構成されてなる自動制御装置において、

前記制御指令値 ( $x_M$ ) に対応し、その元になる指令値 ( $x_R$ ) を発生する指令発生手段 (4) と、

前記指令値 ( $x_R$ ) を入力として前記制御指令値 ( $x_M$ ) を生成する模擬フィードバック制御装置 (5) を備え、該模擬フィードバック制御装置は、模擬補償回路 (6) と前記被制御対象の前記制御量 (v) から検出した前記状態検出値 (x) までの特性を模擬した被制御対象模擬回路 (7) からなり、該模擬補償回路には前記指令値

( $x_R$ ) と前記制御指令値 ( $x_M$ ) との偏差 ( $\epsilon_M$ ) が入力されて該被制御対象模擬回路へ入力する模擬入力信号

( $V_R$ ) が出力され、該被制御対象模擬回路には該模擬入力信号 ( $V_R$ ) が入力されて前記制御指令値 ( $x_M$ ) が出力され、

前記模擬入力信号 ( $V_R$ ) は、前記出力補償信号 ( $v_\epsilon$ ) に加算されて前記制御量 (v) が決定されることを特徴とする自動制御装置。

【請求項2】 被制御対象の位置を検出した検出値 (x) が制御位置指令値 ( $x_M$ ) になるように被制御対象を位置制御するフィードバック制御系であって、その制御系内のマイナーループに速度と電流若しくはそれに比例するトルクのフィードバック制御系を有する自動制御装置において、

前記被制御対象の位置 (x) と速度 ( $\omega$ ) 及び電流

(2)

3

(i) 若しくはこれに比例するトルクの状態量を検出する状態検出手段と、  
前記制御位置指令値 ( $x_M$ ) に対応しその元になる位置指令値 ( $x_R$ ) を発生する位置指令発生手段 (4) と、  
前記位置指令値 ( $x_R$ ) を入力として前記制御位置指令値 ( $x_M$ ) を生成する模擬フィードバック制御装置 (5b) を備え、

該模擬フィードバック制御装置は、2つの模擬補償回路 (6b, 6c)、及び前記被制御対象の電流制御量 ( $i$ ) から前記検出される速度と位置の状態検出値 ( $\omega, x$ ) までの特性を模擬した電流速度模擬回路 (13) と位置模擬回路 (14) とを有する被制御対象模擬回路 (7b) からなり、

前記模擬補償回路を構成する第1の模擬補償回路 (6b) には、前記位置指令値 ( $x_R$ ) と前記制御位置指令値 ( $x_M$ ) との偏差 ( $\varepsilon_M$ ) が入力されて目標速度指令値 ( $\omega_R$ ) が生成され、前記模擬補償回路を構成する第2の模擬補償回路 (6c) には、該目標速度指令値 ( $\omega_R$ ) と前記被制御対象模擬回路 (7b) 内の電流速度模擬回路 (13) より得られる制御速度指令値 ( $\omega_M$ ) との偏差が  
10 入力されて目標電流指令値 ( $i_R$ ) が生成され、前記電流速度模擬回路 (13) には、前記目標電流指令値 ( $i_R$ ) が  
20 入力されて前記制御速度指令値 ( $\omega_M$ ) が生成され、前記位置模擬回路 (14) には前記制御速度指令値 ( $\omega_M$ ) が  
入力されて前記制御位置指令値 ( $x_M$ ) が生成され、前記目標電流指令値 ( $i_R$ ) と前記制御速度指令値  
( $\omega_M$ ) は、前記被制御対象を位置制御するフィードバック制御系内のマイナーループである速度と電流のフィードバック制御系の速度と電流の指令値にそれぞれ加算されて制御系の指令値が決定されること  
を特徴とする自動制御装置。

【発明の詳細な説明】

〔産業上の利用分野〕

本発明は位置制御や速度制御などに用いて好適な自動制御装置に関する。

〔従来の技術〕

近年、XYテーブルやモータをはじめとする各種制御装置においては (a) 指令値の変化に追従する制御特性 (以下、サーボ特性という) と、

(b) 外乱等があつた場合に一定の値に保とうとする制御特性 (以下、レギュレータ特性という) の両者を向上させることが強く要求されている。しかし、従来のPID制御などでは、一般にレギュレータ特性を最適にするとサーボ特性が振動的になり、一方、サーボ特性を最適にするとレギュレータ特性を遅くなるという欠点がある。そのため、この両者の特性を改善する方法として、各種の2自由度制御方式が提案されている。例えば、計測自動制御学会論文第18巻第1号 (昭和57年1月) の第8～14頁「線形多変数系に対するモデル追従形サーボコントローラの設計」という題目で記載されている。この文

4

献では、理想的なステップ応答が得られるモデルを用い、このモデルの状態量と、モデルの出力とプラントの出力との差と、プラントの状態量とによりプラントを制御する方法が述べられている。この方法によれば、サーボ系の応答だけでなく、外乱に対する応答も向上することができる。

〔発明が解決しようとする問題点〕

しかし、制御系の補償定数はサーボ特性とレギュレータ特性の両者が互いに影響する。したがって、サーボ特性及びレギュレータ特性をそれぞれ最適にするには、両者を考慮して補償定数を決定しなければならず、設計する上で複雑になっている。

本発明の目的はサーボ特性及びレギュレータ特性をそれぞれ独立に簡単に設計でき、制御系のロバスト性が向上する自動制御装置を提供することである。

〔問題点を解決するための手段〕

本発明は、被制御対象の状態量を検出した検出値をフィードバックし、その検出値が制御指令値になるように出力補償回路からの出力補償信号に基づく量を制御量として被制御対象を制御するフィードバック制御系で構成されてなる自動制御装置において、前記制御指令値に対応し、その元になる指令値を発生する指令発生手段と、前記指令値を入力として前記制御指令値を生成する模擬フィードバック制御装置を備え、該模擬フィードバック制御装置は、模擬補償回路と前記被制御対象の前記制御量から検出した前記状態検出値までの特性を模擬した被制御対象模擬回路からなり、

該模擬補償回路には前記指令値と前記制御指令値との偏差が入力されて該被制御対象模擬回路へ入力する模擬入力信号が出力され、該被制御対象模擬回路には該模擬入力信号が入力されて前記制御指令値が出力され、前記模擬入力信号は、前記出力補償信号に加算されて前記制御量が決定されることを特徴とする。

〔作用〕

上記手段によれば、従来のフィードバック制御系に加えて、被制御対象を模擬した被制御対象模擬回路にフィードバック制御系が構成され、この被制御対象模擬回路に入力する模擬入力信号と被制御対象模擬回路から得られる模擬出力信号とを用いて、被制御対象に対して2自由度制御系が構成されることになる。

これにより、被制御対象に制約条件がある場合でも、サーボ特性とレギュレータ特性の両者をともに最適にすることができる。

また、被制御対象を制御する出力補償信号に模擬入力信号が加算されてなるフィードフォワード制御が行われることから、ロバスト性が向上できる。

〔実施例〕

以下、本発明の一実施例を図面により説明する。

第1図は本発明をXYテーブルの位置制御に適用したときの一実施例である。

(3)

5

第1図において、モータ1を駆動することにより、XYテーブル2を位置決めするようになっている。モータ1及びXYテーブル2が被制御対象であり、その出力値状態検出値となるXYテーブル2のテーブル位置 $x$ は位置検出器3により検出する。指令装置4から得られる位置指令値 $x_R$ は模擬フィードバック制御装置5に入力される。模擬フィードバック制御装置5は模擬出力信号であるモデル位置 $x_M$ と位置指令値 $x_R$ との差、つまり、モデル位置偏差 $\varepsilon_M$ を計算する。模擬補償回路6はモデル位置偏差 $\varepsilon_M$ により模擬入力信号である目標電圧 $v_R$ を演算する。目標電圧 $v_R$ はモータ1及びXYテーブル2を模擬した被制御対象模擬回路7に入力される。被制御対象模擬回路7の出力がモデル位置 $x_M$ になるので、模擬フィードバック制御装置5は被制御対象模擬回路7に対するフィードバック制御系を構成している。出力補償回路8はモデル位置 $x_M$ とテーブル位置 $x$ 位置偏差 $\varepsilon$ を用いて出力補償信号である位置補償信号 $v_\varepsilon$ を演算する。位置補償信号 $v_\varepsilon$ とフィードフォワード信号となる目標電圧 $v_R$ を加算してモータ1の印加電圧 $v$ を決定する。なお、被制御対象模擬回路7の特性は明らかであるため、モデル位置 $x_M$ の応答が最適になるように模擬補償回路6の定数を定めることができる。さらに、モータ電流の最大値 $i_{MAX}$ や、最高速度 $\omega_{MAX}$ など、物理的な制約条件がある場合にも模擬補償回路6にリミッタを挿入することにより、それらの制約条件の下でモデル位置 $x_M$ の最適な応答を得ることを容易にできる。

次に動作について説明する。

位置指令値 $x_R$ が入力されると、模擬補償回路6はモデル位置 $x_M$ が最適な応答となるような目標電圧 $v_R$ を演算す \*

6

る。この目標電圧 $v_R$ によつてモータ1の印加電圧 $v$ を決定する。モータ1の印加電圧 $v$ からテーブル位置 $x$ までの特性が被制御対象模擬回路7の特性と一致していれば、テーブル位置 $x$ はモデル位置 $x_M$ と同じ応答となる。つまり、テーブル位置 $x$ は物理的制約条件を考慮した最適な応答となる。一方、モータ1の印加電圧 $v$ からテーブル位置 $x$ までの特性が被制御対象模擬回路7の特性と異なる場合にはテーブル位置 $x$ がモデル位置 $x_M$ と一致せず位置偏差 $\varepsilon$ を生じる。位置偏差 $\varepsilon$ があると、出力補償回路8により演算される位置補償信号 $v_\varepsilon$ をモータの印加電圧 $v$ に加算するので位置偏差 $\varepsilon$ を非常に小さくすることができる、また、被制御対象に外乱が生じた場合の位置偏差も同様に小さくすることができる。

第2図に第1図における伝達関数のブロック線図を示す。第2図を用いて第1図に示す実施例の制御特性を説明する。

第2図において、 $K_{IM}(s)$ は模擬補償回路6の補償ゲイン、

$$G_1(s)$$

は被制御対象模擬回路7の特性、 $K_1(s)$ は出力補償回路8の補償ゲイン、 $G_1(s)$ は被制御対象であるモータ1及びXYテーブル2の特性をそれぞれ表わす伝達関数である。なお、 $s$ はラプラス演算子である。

さて、第2図において、位置指令値 $x_R$ からテーブル位置 $x$ へのサーボ特性を表す伝達関数 $H_S(s)$ と、外乱 $d$ からテーブル位置 $x$ へのレギュレータ特性を示す伝達関数 $H_R(s)$ はそれぞれ次式で表わされる。

$$H_S(s) = \frac{(1 + G_1(s)K_1(s)) G_1(s)K_{IM}(s)}{(1 + G_1(s)K_1(s)) (1 + G_1(s)K_{IM}(s))} \dots \dots (1)$$

$$H_R(s) = \frac{G_1(s)}{1 + G_1(s)K_1(s)} \dots \dots (2)$$

被制御対象模擬回路7の特性

$$G_1(s)$$

がモータ1及びXYテーブル2の特性 $G_1(s)$ に非常に近いときには(1)式を(3)式のように近似して表わすことができる。

$$H_S(s) \doteq \frac{G_1(s)K_{IM}(s)}{1 + G_1(s)K_{IM}(s)} \dots \dots (3)$$

7

(3) 式から明らかなように、サーボ特性を示す伝達関数  $H_S(s)$  はほぼ模擬補償回路6の特性  $K_{IM}(s)$  だけで決定される。また、(2) 式よりレギュレータ特性を表わす伝達関数  $H_R(s)$  は出力補償回路8の特性  $K_1(s)$  だけで決められる。つまり、この制御系は  $K_{IM}(s)$ 、 $K_1(s)$  がそれぞれ他の特性に影響することが非常に少なく、独立に決定できる2自由度制御系であることがわかる。以上のことから、模擬補償回路6の特性  $K_{IM}(s)$  は被制御対象模擬回路7に対するサーボ特性が最適になるように設計することができる。しかも、被制御対象模擬回路7は外乱やパラメータ変動がないので、応答だけに着目した設計が可能になる。このとき、モータ1に印加できる最大電圧以下に設定できる電圧リミッタを模擬補償回路6の出力部に挿入することにより、簡単にモータの印加電圧  $v$  に対する制約条件を満足させることが可能である。また、出力補償回路8の特性  $K_1(s)$  は外乱に対する最適なレギュレータ特性だけに着目して設計すればよい。なお、このように設計すれば、一般に  $K_1(s)$  のゲインのほうが  $K_{IM}(s)$  よりも大きくできる。

さらに、モータ1及びXYテーブル2の特性  $G_1(s)$  と、被制約対象模擬回路7の特性

$$G_1(s)$$

のわずかな違いやパラメータ変動に対しても、出力補償回路8の特性  $K_1(s)$  により補償することができる。第3図はこの実施例において、ステップ状の位置指令値  $x_R$  を与えたときの位置制御特性を示したものである。位置指令値  $x_R$  を時刻  $t_0$  でステップ状に変化させると目標電圧  $v_R$  も第3図に示すように変化する。このとき、モータ1及びXYテーブル2の特性  $G_1(s)$  が被制御対象模擬回路7の特性

$$G_1(s)$$

と同じであれば、テーブル位置  $x$  はモデル位置  $x_M$  と一致し最適な応答が得られる。なお、時刻  $t_0$  から  $t_1$  までの期間は模擬補償回路6のリミッタのため、目標電圧  $v_R$  が最大電圧  $v_{MAX}$  を超えないようになっている。また、 $G_1(s)$  が  $G_1(s)$  と異なっている場合には第3図のように位置偏差  $\varepsilon$  を生じる。しかし、出力補償回路8の特性  $K_1(s)$  のゲインは大きいので、フィードバック制御により位置偏差  $\varepsilon$  を極めて小さくできる。この結果、印加電圧  $v$  は目標電圧  $v_R$  とわずかに異なるが、テーブル位置  $x$  をモデル位置  $x_M$  にほぼ一致させることができる。一般に、位置指令値  $x_R$  に対する応答を最適にするとロバスト性が低下する場合がある。しかし、本発明によればモデル位置  $x_M$  とテーブル位置  $x$  の差により補償できるのでロバスト性も向上させることができる。

(4)

8

第4図に本発明の他の実施例を示す。第4図の実施例は電流制御をマイナーループとする一般的な速度制御系を被制御対象の内部に含んだときの例である。つまり、第4図は被制御対象を速度指令  $\omega^*$  からテーブル位置  $x$  までの特性としている。

第4図において速度検出器9により得られるテーブル速度  $\omega$  をフィードバックして速度制御回路10で電流指令  $i^*$  を演算する。電流制御回路12は電流指令  $i^*$  と電流検出器11から検出されるモータ電流  $i$  との差によりモータ1の印加電圧  $v$  を制御する、第4図は電流制御系をマイナーループとして含む一般的な速度制御系である。

第4図の実施例においては模擬フィードバック制御装置5aにおける被制御対象模擬回路7aは速度指令  $\omega^*$  からテーブル位置  $x$  までの特性を模擬したものになっている。したがって、模擬補償回路6aは被制御対象模擬回路7aに対して、位置指令値  $x_R$  からモデル位置  $x_M$  へのサーボ特性が最適になるようにその定数を定められる。

第4図の実施例においても第1図の実施例と同様に位置偏差  $\varepsilon$  を用いて出力補償回路8aによつてフィードバック制御を行うことで、位置偏差  $\varepsilon$  をより小さくできる。その際に、モータ1やXYテーブル2における定数の変化や制御系の外乱は速度制御系によりある程度補償できるので、被制御対象模擬回路7aの特性を被制御対象のそれに近づけることができる。したがって、第4図の実施例によれば、制御系のロバスト性をさらに向上させることができる。

第5図に他の実施例を示す。第5図が第4図と異なるのは、目標速度  $\omega_R$  の代りに目標電流  $i_R$  と、モデル速度  $\omega_M$  とテーブル速度  $\omega$  の速度偏差とを用いて電流指令  $i^*$  を決定するようにした点である。なお、模擬フィードバック制御装置5bにおいて、被制御対象模擬回路7bは電流指令  $i^*$  からテーブル速度  $\omega$  までの特性を模擬した電流速度模擬回路13と、テーブル速度  $\omega$  からテーブル位置  $x$  までの特性を模擬した位置模擬回路14とから構成される。第1の模擬補償回路6bは位置指令値  $x_R$  とモデル位置  $x_M$  の差により目標速度  $\omega_R$  を演算し、第2の模擬補償回路6cは目標速度  $\omega_R$  と電流速度模擬回路13で得られるモデル速度  $\omega_M$  の差により目標電流  $i_R$  を演算する。これにより、被制御対象模擬回路7bの特性が明らかなので、モデル位置  $x_M$  だけでなく、モデル速度  $\omega_M$  もサーボ特性に対して最適になるように模擬補償回路の補償ゲインを決定できる。このモデル速度  $\omega_M$  とテーブル速度  $\omega$  の差を、この実施例の状態補償回路である速度補償回路15に加えることによつてテーブル速度  $\omega$  はほぼモデル速度  $\omega_M$  に一致させることができる。

したがって、第5図の実施例によれば、模擬フィードバック制御装置5bにおいて位置制御だけでなく速度制御まで最適にできるのでロバスト性を保持したまま応答性をさらに向上できる。

第6図に本発明の他の実施例を示す。

(5)

9

第6図の実施例は第5図に示した実施例における考え方を電流制御系にまで拡張したものである。第6図においては被制御対象がモータ1の印加電圧 $v$ からテーブル位置 $x$ までとなる。第6図の被制御対象模擬回路7は第1図と同じものになる。

第6図の実施例については第5図と異なる部分について説明する。

第2の制御模擬回路6cで得られた目標電流 $i_R$ と後述するモデル電流 $i_M$ との差によつて第3の制御模擬回路6dで目標電圧 $v_R$ が演算される。目標電圧 $v_R$ を入力する被制御対象模擬回路7は3つの回路から構成される。つまり、モータの印加電圧 $v$ からモータ電流 $i$ までの特性を模擬した電流模擬回路16、モータ電流 $i$ からテーブル速度 $\omega$ までの特性を模擬した速度模擬回路17およびテーブル速度 $\omega$ からテーブル位置 $x$ までの特性を模擬した位置模擬回路14とから構成される。電流模擬回路16は目標電圧 $v_R$ を入力すると、モデル電流 $i_M$ を演算する。これにより、第3の制御模擬回路6dにおいて、サーボ特性に対して最適な電流制御系の定数を決定することができる。

また、第6図の実施例はモデル電流 $i_M$ とモータ電流 $i$ との差に、速度補償回路15から得られる速度補償信号 $i_\varepsilon$ を加えたものを電流補償回路18の入力としている。その結果として得られる電流補償信号 $v_\varepsilon$ と目標電圧 $v_R$ とを加算したものをモータの印加電圧 $v$ としている。

したがつて、第6図の実施例によれば、第5図に実施例の特長に加えて、さらに電流制御系に対する応答性の向上とロバスト性の確保も可能である。

なお、第6図の模擬フィードバック制御装置5cにおける電流制御系と速度模擬回路17が第5図の電流速度模擬回路13に相当する。

〔発明の効果〕

10

以上説明したように本発明によればサーボ特性とレギュレータ特性の定数をそれぞれ独立に決定できる2自由度制御系を構成できるのでサーボ特性及レギュレータ特性を簡単に設計することができる。さらに、制御系のロバスト性を向上することができる。

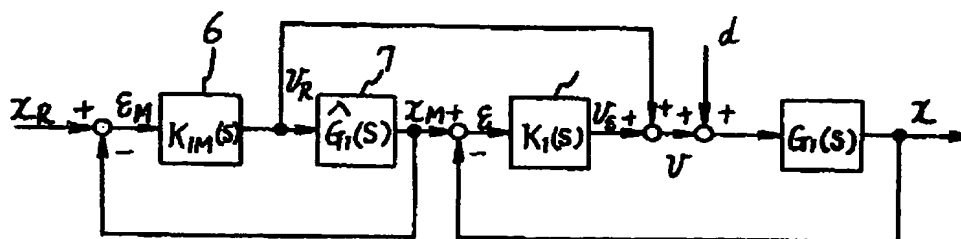
なお、以上説明した実施例はXYテーブルの位置制御に適用した場合について述べたが、ロボット、NC工作機械などについても適用できる。また、位置制御と同様の考え方ができる制御系であれば、速度制御装置や、プラントの制御装置にも応用することができる。また、電動機の電流とトルクは比例関係にあることは周知のことより、本願実施例の電流のフィードバック制御系の代わりにトルクのフィードバック制御系を用いても同様な効果が得られる。さらに、上述の実施例はアナログ制御回路で構成した場合について述べたが、マイクロプロセッサを用いたデジタル制御回路でも構成できることは勿論である。

#### 【図面の簡単な説明】

第1図は本発明の一実施例を構成図、第2図は第1図における伝達関数を示すブロック図、第3図はステップ応答特性図、第4～6図はそれぞれ本発明の他の実施例を示す構成図である。

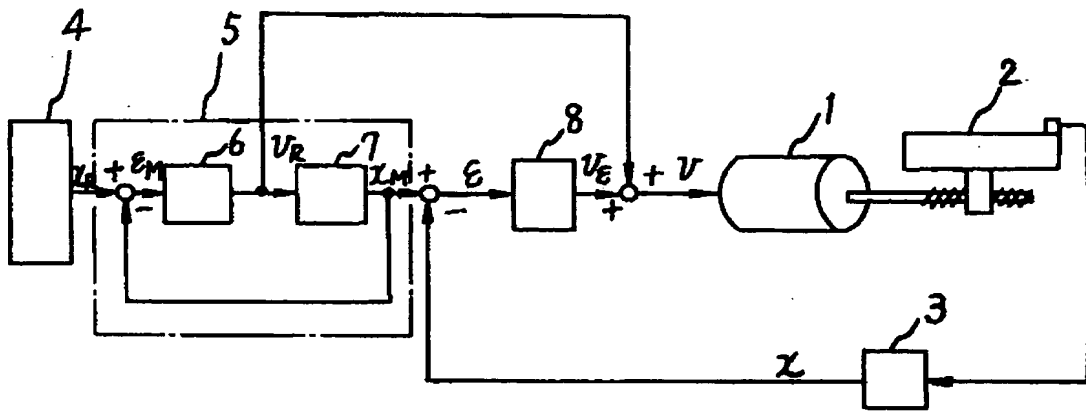
1……モータ、2……XYテーブル、3……位置検出器、4……指令装置、5……模擬フィードバック制御装置、6……模擬補償回路、7……被制御対象模擬回路、8……出力補償回路、9……速度検出器、10……速度制御回路、11……電流検出器、12……電流制御回路、13……電流速度模擬回路、14……位置模擬回路、15……速度補償回路、16……電流模擬回路、17……速度模擬回路、18……電流補償回路。

【第2図】



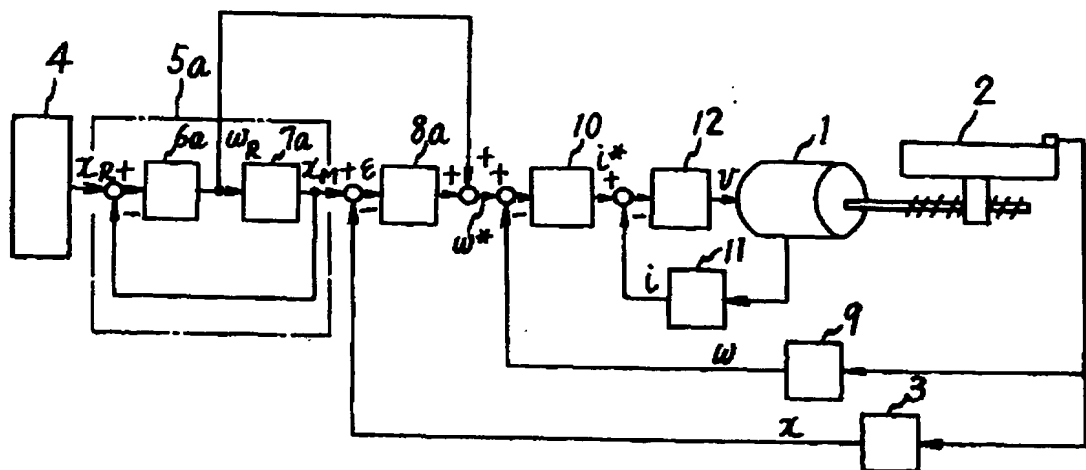
(6)

【第1図】



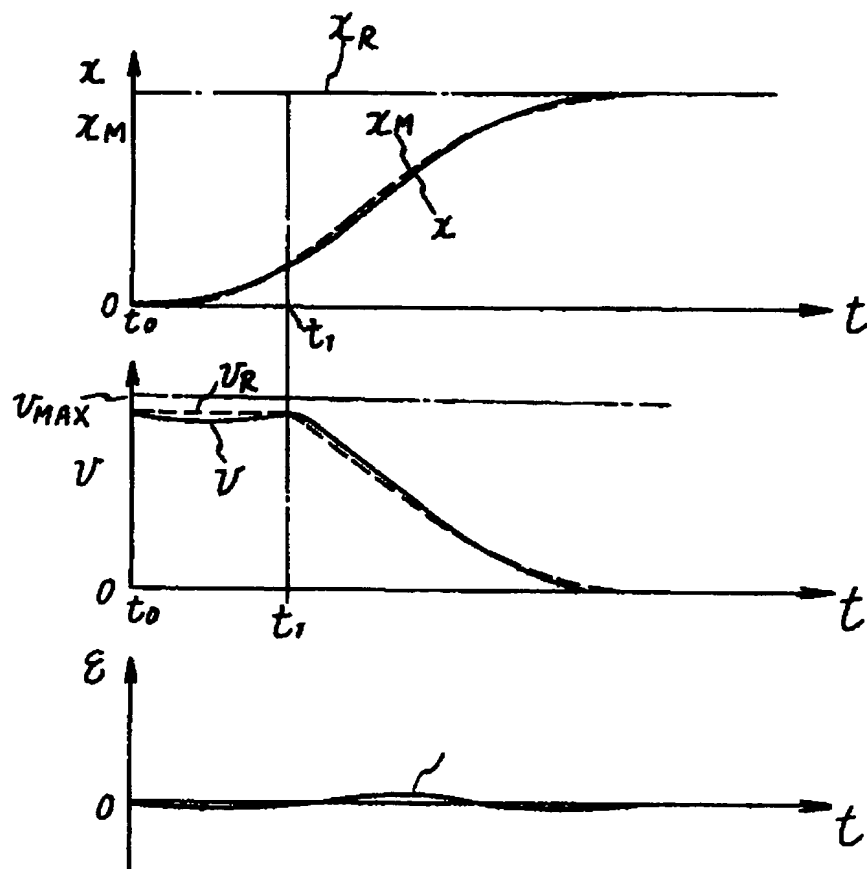
- 1--- モータ
- 2--- XYテーブル
- 3--- 位置検出器
- 4--- 指令装置
- 5--- 模擬フィードバック制御装置
- 6--- 模擬補償回路
- 7--- 被制御対象模擬回路
- 8--- 出力補償回路

【第4図】

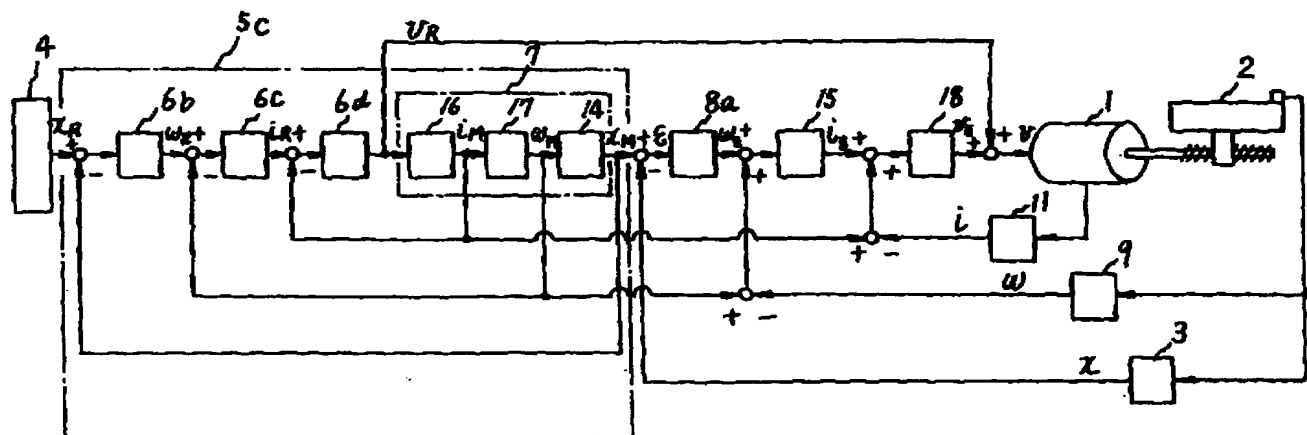


(7)

【第3図】



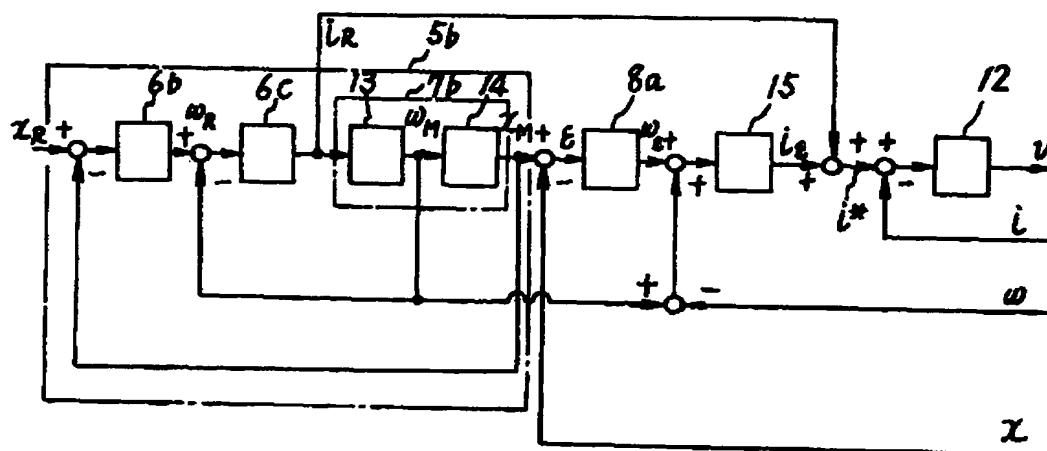
【第6図】



BEST AVAILABLE COPY

(8)

【第5圖】



- |             |               |
|-------------|---------------|
| 9---速度検出器   | 13---電流速度模擬回路 |
| 10---速度制御回路 | 14---位置模擬回路   |
| 11---電流検出器  | 15---速度補償回路   |
| 12---電流制御回路 |               |